

Прогнозирование качества прямошовных сварных труб

06, июнь 2011

авторы: Соколова О. В., Лепестов А. Е.

УДК 621.774.21

МГТУ им. Н.Э. Баумана

lepestov-anton@mail.ru

Современный рынок вынуждает заводы-производители труб нефтегазового сортамента осваивать производство труб из различных марок сталей на имеющемся оборудовании, класс прочности которых повышается год от года. При этом возрастают требования, предъявляемые к качеству выпускаемой продукции, что обусловлено условиями эксплуатации современных трубопроводов (давление в них достигает 250 атмосфер).

Процесс освоения производства электросварных прямошовных труб новых типоразмеров из различных марок сталей валковой формовкой является трудоемким процессом, при этом заводы-производители несут колоссальные убытки, связанные большой стоимостью набора валков, применение которых еще не гарантирует стабильность процесса формообразования, а также во время наладки технологического процесса получается большое количество брака.

Основными дефектами, возникающими в процессе производства прямошовных электросварных труб, являются:

- *Превышение кромок.* Причины образования – перекося или боковое смещение валков формовочного стана, ошибка в калибровке или настройке стана, большой зазор между валками, сильный износ или биение валков
- *Нахлест.* Образование этого дефекта обычно связано с задачей в стан слишком широкой ленты, что приводит к выскакиванию ее кромок из-под ножа направляющей клетки
- *Скручивание трубы* вокруг продольной оси происходит при недостаточно точной настройке стана, боковом смещении и перекося формовочных валков, а так же сильном износе разрезной шайбы направляющей клетки.
- *Гофрообразование* – наиболее значимый дефект из выше перечисленных, не позволяющий производить качественную сварку заготовки. Ранее механизм образования гофра сводился к неправильно рассчитанной схеме сворачивания, приводящей к локальным перегрузкам в приводных калибрах (как правило, открытых) с последующей разгрузкой с образованием гофрированных участков. В настоящее время механизм гофрообразования уточнен и кроме деформационной схемы сворачивания учитывается

специфика контактного взаимодействия инструмента и трубной заготовки по всей длине очага. Исследования показали, что гофрообразование возникает на участках между приводными калибрами, создающими схему осевого сжатия сформованной заготовки. Такая схема возникает из-за таких кинематических условий контакта, при которых последующий калибр является не тянущим, а тормозящим.

На сегодняшний же день мы можем сократить время пусконаладочных работ при освоении новых типоразмеров прямошовных электросварных труб из разных марок сталей, оценив поведение полосы во время формообразования. Так, используя математическую модель, созданную на кафедре «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им Н.Э. Баумана инженером Скрипкиным А.Ю. под руководством к.т.н. доцента Соколовой О.В., стало возможным провести анализ напряженно-деформированного состояния трубной заготовки уже на стадии проектирования, то есть определить основные параметры процесса формовки труб, которые в свою очередь и определяют качество получаемого готового изделия [1]. При этом возможно моделирование различных условий процесса, анализ которых позволяет выявить параметры, при которых происходит возникновение брака.

Таким образом, можно предсказывать появление дефектов еще до изготовления оборудования и рабочего инструмента.

Проектирование рабочего инструмента, а так же формовочного стана до создания вышеуказанной математической модели, основывалось на опыте, который копился более чем за столетнюю историю существования производства труб валковой формовкой. Математическое описание сложного процесса формоизменения заготовки в валках в общем виде затруднительно, вследствие чего многими исследователями создавались упрощенные схемы и модели участка плавного перехода, на основе которых решались отдельные технологические вопросы формообразования.

В результате чего, наиболее популярной методикой расчета технологических параметров процесса стала методика, предложенная Ю.М. Матвеевым, суть которой заключается в том, что каждая стадиягиба полосы в формующем калибре рассматривается как формоизменение металла в штампах. При этом используется линейная зависимость между истинными напряжениями и деформациями [2].

Это методика хорошо проявила себя для расчета процесса формовки труб малого диаметра. Однако в случае производства труб среднего и особенно большого диаметра, результаты практических измерений и результатов расчета по вышеуказанной методике существенно расходятся, что не позволяет проводить качественный анализ процесса формовки.

Данный факт объясняет возникающие трудности при наладке уже существующего оборудования на новый типоразмер трубной заготовки или при переходе производства с

одной марки стали на другую, что приводит к получению брака во время производства труб валковой формовкой.

Для примера рассмотрим один из наиболее сложных процессов формовки труб – это производство труб для нефтепроводов диаметром 530 мм с толщиной стенки 10 мм. Выберем стандартное оборудование – это формовочный стан агрегата ТЭСА 203-530 ОАО Выксунского металлургического завода. Хотя данный типоразмер изделия и указан в технической характеристике агрегата, на предприятии не удастся наладить стабильный процесс изготовления труб высокого качества в условиях массового производства.

С помощью выше указанной математической модели был проведен анализ калибровки формирующего инструмента. В первую очередь был сделан анализ однорадиусной калибровки. Именно такая калибровка была применена на промышленном стане. На рисунке 1 можно видеть, что при формовке ленты в цилиндрическую заготовку в открытых калибрах кромка ленты подвергается максимальным растягивающим напряжениям, что приводит к превышению допустимого значения удлинения кромки полосы и влияет на качество сварного шва, в результате чего появляется непровар. Анализ результатов расчетов показал, что использовать однорадиусную калибровку нецелесообразно для труб среднего и большого диаметра, хотя для формовки труб малого диаметра она дает хорошие результаты.

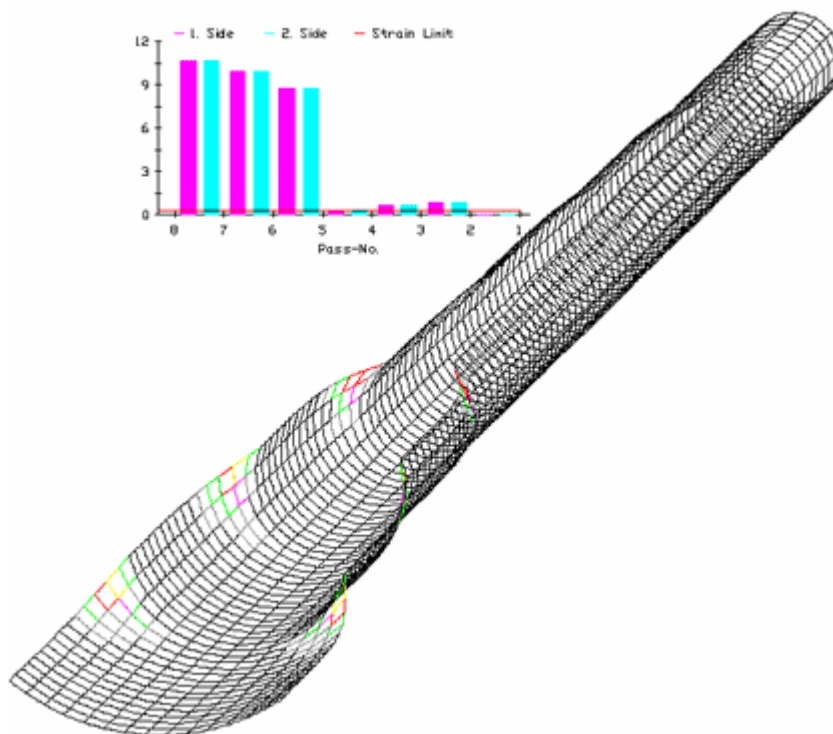


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние трубной заготовки при однорадиусной калибровке

В качестве альтернативы однорадиусной калибровки для исследования была предложена двухрадиусная калибровка, при которой радиус r крайних участков полосы равен радиусу готовой сформованной трубы, а центральный радиус R является переменным, уменьшающимся от одной стадии формовки к другой до радиуса готовой трубы. Результаты анализа данной калибровки представлены на рисунке 2.

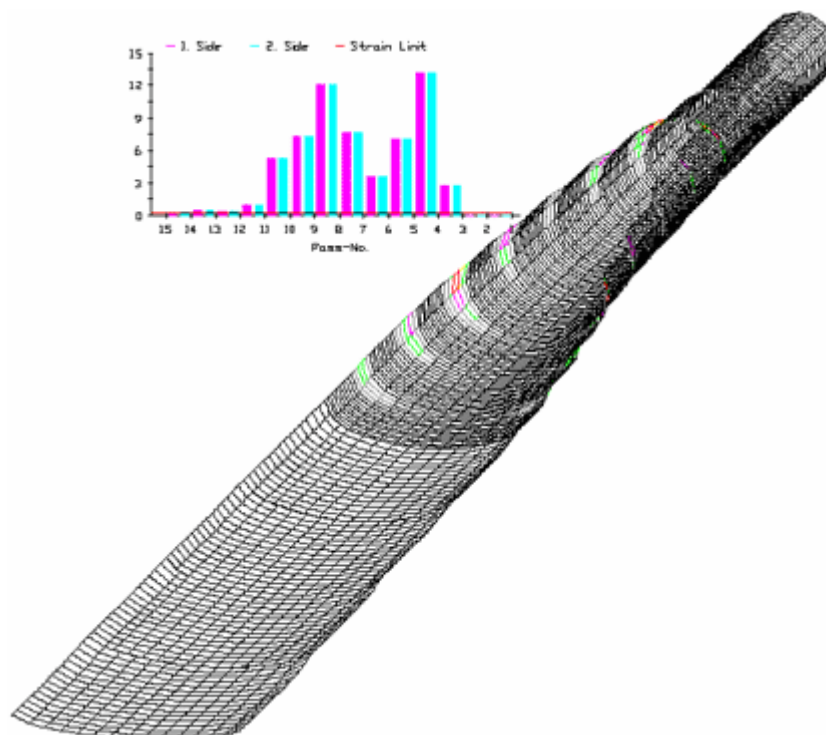


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние трубной заготовки при двухрадиусной калибровке

Однако и в этом случае кромка ленты подвергается большим растягивающим напряжениям, что ведет к превышению допустимого значения удлинения кромки полосы. Использование двухрадиусной калибровки вместо однорадиусной не решило проблемы получения брака при производстве трубной заготовки диаметром 530 мм и толщиной стенки 10 мм. Это вызвано тем, что формовка ленты в цилиндрическую заготовку происходит слишком интенсивно.

На этапе анализа калибровки рабочего инструмента формовочного стана ТЭСА 203-530 для получения трубы указанного типоразмера было выявлено, что использование двухрадиусной калибровки вместо однорадиусной также не обеспечивает стабильного процесса формообразования на данном оборудовании [3]. Ценность проведенных исследований заключается в том, что удалось получить результат (хотя и отрицательный)

без изготовления дорогостоящего инструмента и проведения сложных промышленных апробаций.

Удлинение кромок, как можно предположить, зависит не только от калибровки валков, но и от числа рабочих клеток, расстояния между ними. При формовке полосы на различных агрегатах для производства прямошовных труб далеко не для всех типоразмеров удастся обеспечить относительное удлинение кромок не более 1 %. Чтобы выдержать это условие необходимо либо увеличить количество формовочных клеток, либо увеличить длину стана. Оба случая требуют конкретного подхода и к конструктивному решению, и к возможности размещения оборудования на конкретном предприятии. Также не следует забывать и об экономическом факторе.

Известно, что процесс должен протекать плавно, если увеличить длину формующего стана, то есть длину участка формовки.

Так при формовке трубной заготовки диаметром 530 мм и толщиной стенки 10 мм относительное удлинение кромок не должно превышать 0,1 %. Данное требование обусловлено техническими условиями производства прямошовных электросварных труб.

Так для определения минимальной длины L участка плавного перехода плоского листа в цилиндрическую заготовку можно воспользоваться следующей зависимостью:

$$((L_1 - L) / L) \times 100 \leq 0,1$$

где L_1 - длина кромки заготовки на участке плавного перехода.

С учетом геометрических соотношений в зависимости от диаметра трубы D_T длина L участка плавного перехода составит

$$L = 50 \cdot D_T$$

Согласно приведенной зависимости длина формовочного стана ТЭСА 203-530 Выксунского металлургического завода для вышеуказанного размера труб должна составлять не менее 26,5 м. В действительности же его длина равна 14,4 м, что почти в 2 раза меньше требуемого размера. Используя данные, полученные Скрипкиным А.Ю. с использованием математической модели, можно наглядно продемонстрировать напряжения, возникающие при формовке на таком стане (рис. 3). В этом случае продольные деформации составляют 3,6 %, что не может обеспечивать должное качество трубы.

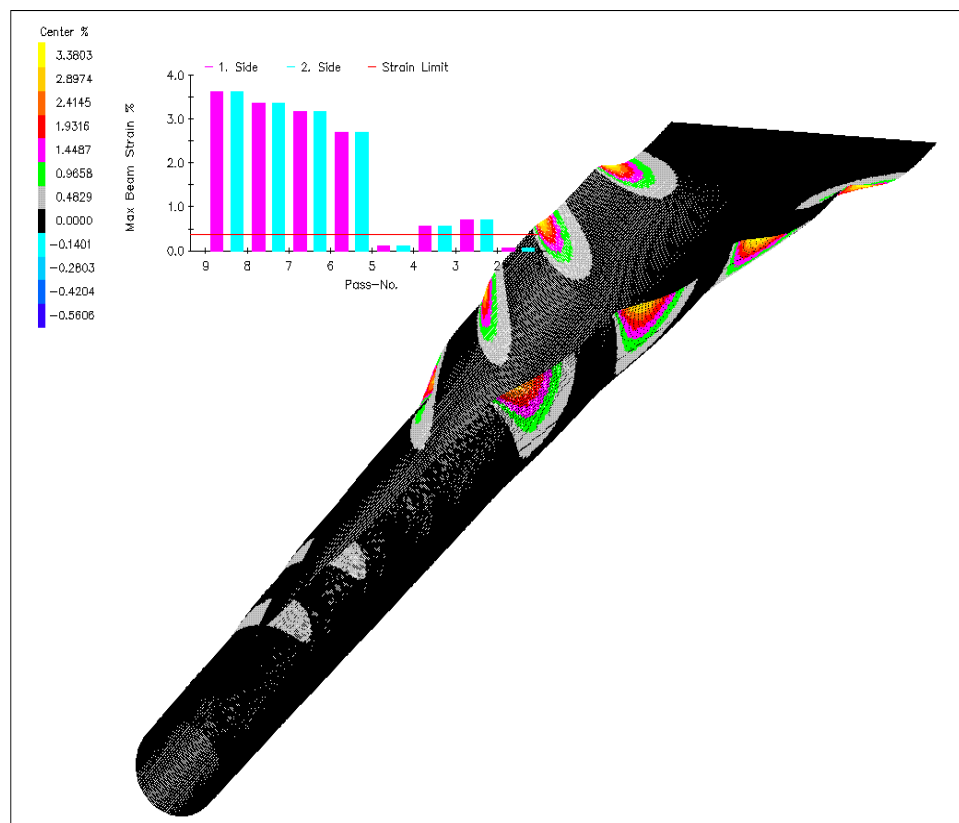


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние трубной заготовки при длине формовочного стана 14,4 м

Напряжения, возникающие в трубной заготовке при формовке на стане, длина которого увеличена до 26,5 м, представлены на рисунке 4. В этом случае картина напряженного состояния существенно меняется. Продольные деформации в кромках будут составлять приблизительно 1 %.

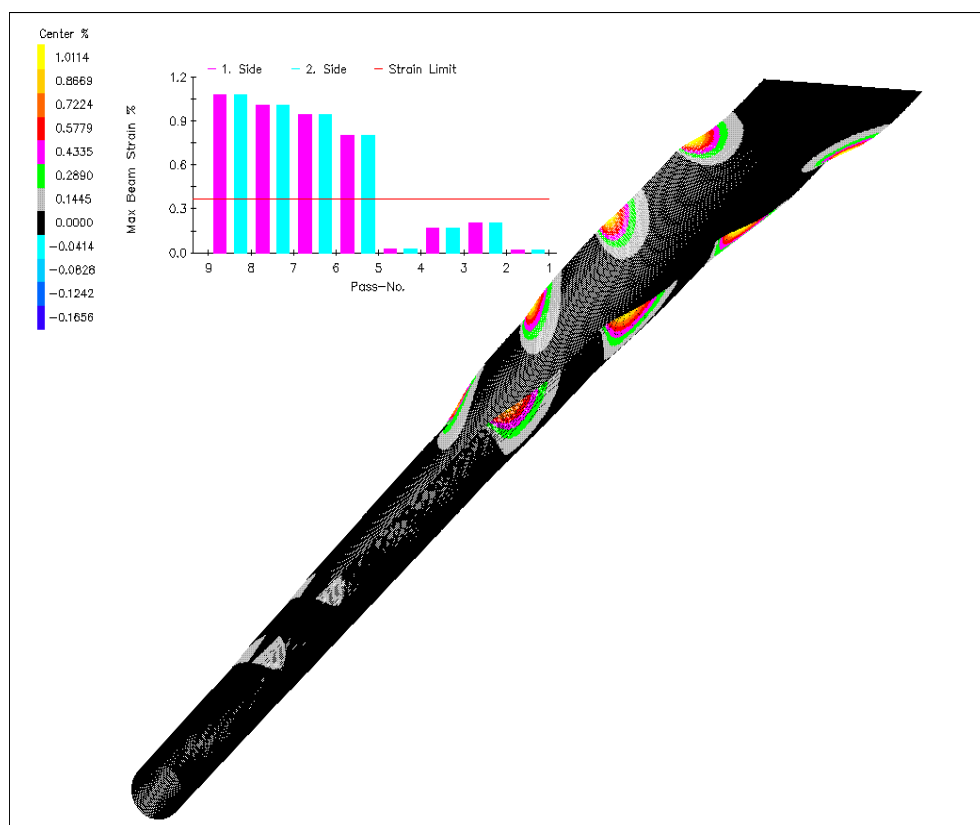


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние трубной заготовки при длине формовочного стана 26,5 м

Максимальное удлинение кромок заготовки уменьшится с 3,4 % (формовочный стан длиной 14,4 м) до 1 % (формовочный стан длиной 26,5 м), что позволяет обеспечить стабильность технологического процесса и требуемое качество сварного шва при изготовлении трубной заготовки диаметром 530 мм и толщиной стенки 10 м [1].

Таким образом, на основе математической модели можно проводить не только анализ напряженно-деформированного состояние формируемой трубной заготовки, тем самым прогнозируя качество получаемого изделия на существующем оборудовании, но и анализируя различные варианты модернизации последнего, разработать технологический процесс, обеспечивающий стабильное массовое производство труб высокого качества.

Библиографический список

1. А.Ю. Скрипкин Моделирование процесса валковой формовки сварных труб, Научный семинар, 17 июня 2009, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия.
2. Ю.Ф. Шевакин, А.З. Глейберг Производство труб, Москва, Металлургия, 1968 г., 440с.

3. А. Седлмайер, А.Ю. Скрипкин Разработка калибровок технологического инструмента трубных станов с применением программных комплексов, Сталь, 2009, №5, стр. 43-48.

4. Соколова О.В., Лепестов А.Е. Формообразование трубных профилей, Москва, электронное научно-техническое издание «Наука и образование», №7, июль 2010г.